

四种植物酚类物质对舞毒蛾生长发育及繁殖的影响

王晓丽¹, 王予彤¹, 段立清^{1,2,*}, 李海平², 冯淑军²

(1. 内蒙古农业大学林学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 【目的】为明确植物酚类次生物质对舞毒蛾 *Lymantria dispar* (L.) 的影响, 并为应用其防治害虫奠定基础。【方法】本研究选用 4 种酚酸(水杨酸、丁香酸、绿原酸和水解单宁酸)分别加入人工饲料中饲养舞毒蛾 2 龄幼虫, 调查其对幼虫生长发育及繁殖的影响。【结果】不同酚酸对舞毒蛾的影响差异显著。单宁酸处理第 12 天时幼虫死亡率达到 22.2%, 显著高于对照(取食不添加任何酚酸的人工饲料)死亡率(3.3%) ($P < 0.01$) 及其他酚酸处理时的死亡率。到第 22 天单宁酸及绿原酸使幼虫死亡率迅速上升, 至第 34 天时死亡率达到 100%; 二者处理的幼虫虫体瘦小, 发育历期显著延长, 不能正常蜕皮, 到 4 龄期时全部死亡。取食含丁香酸或水杨酸饲料的幼虫可幸存至蛹和成虫, 雌性蛹重较对照显著增加, 但产卵量和卵受精率均显著降低。其中, 取食含丁香酸饲料的成虫产卵量和卵受精率分别比对照减少近 90 粒和降低约 35%, 雌性成虫比例下降。【结论】结果说明不同酚酸在害虫体内的积累会对其生长发育及繁殖产生不同程度的影响。

关键词: 舞毒蛾; 植物次生物质; 酚类; 酚酸; 生长发育; 繁殖

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2014)07-0831-06

Effects of four plant phenolics on the growth and development and fecundity of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae)

WANG Xiao-Li¹, WANG Yu-Tong¹, DUAN Li-Qing^{1,2,*}, LI Hai-Ping², FENG Shu-Jun² (1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China; 2. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China)

Abstract: 【Aim】 This study aims to identify the effects of the secondary plant substances, phenolics, on the gypsy moth, *Lymantria dispar* (L.), and to establish the theoretical foundation to control pests using these phenolics. 【Methods】 We chose four kinds of phenolic acids (salicylic acid, syringic acid, chlorogenic acid and tannic acid), which were mixed in artificial diet separately, to test the influence of phenolics on the growth and development and fecundity of the 2nd instar larvae of *L. dispar*. 【Results】 The results showed that different phenolic acids had different influences on *L. dispar* larvae. Tannic acid caused the larval mortality of 22.2% on the 12th day after feeding, which was significantly higher than the mortality in the control (larvae fed on normal artificial diet) (3.3%) ($P < 0.01$) and treatments with other phenolic acids. The larval mortalities caused by tannic acid and chlorogenic acid increased straightly from the 22nd day and reached 100% on the 34th day after feeding. Both tannic acid and chlorogenic acid reduced the larval weight and prolonged the developmental duration, frequently causing incomplete ecdysis, even all died, at the 4th instar larval stage. The larvae fed on the diet containing salicylic acid or syringic acid pupated and grew to adults, and the pupal weight of females increased significantly but the number of eggs laid per female and fertilization rates of eggs decreased obviously. Compared with the control, syringic acid caused a decrease of 90 eggs in the number of eggs laid per female, a 35% decrease in the fertilization rate of eggs, and also a reduction in the proportion of female adults. 【Conclusion】 The results suggest that different phenolic acids accumulated in pests would result in various degrees of influence on the growth and development and fecundity of the pest.

Key words: *Lymantria dispar*; secondary plant substances; phenolics; phenolic acids; growth and development; fecundity

基金项目: 国家自然科学基金项目(31160161)

作者简介: 王晓丽, 女, 1986 年生, 内蒙古满洲里人, 博士研究生, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: nmwangxiaoli@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: duanlq2013@163.com

收稿日期 Received: 2014-03-11; 接受日期 Accepted: 2014-06-08

在构成植物抗虫性的因素中,次生物质作为植物抗虫性的主要化学基础,已成为国内外学者研究的一项重要内容(娄永根和程家安, 1996; Thomas and Erich, 1998)。植物次生物质并不是植物正常生长发育所必需的化合物,而是在初级合成代谢过程中作为副产物产生的有机化合物(Herbert, 1989)。酚类化合物是次生物质之一,其中单宁酸(tannic acid, TA)被认为是酚类物质中最具抗虫性的物质。绿原酸(chlorogenic acid, CH)属于正双羟基酚类,对昆虫有直接毒杀作用,还可氧化为毒性更高的醌类物质(胡增辉等, 2009)。水杨酸(salicylic acid, SA)是植物重要的信号物质,植物受害后其含量会明显增加。在植物体内改变代谢途径,丁香酸(syringic acid, SY)也是植物体内重要的次生性代谢酚类,当植物遭受损害或有外源信号诱导时含量增加明显。当植物遭受植食性昆虫损伤后,变化最明显的次生性物质是酚类有毒化合物的含量(汤德良等, 1997; 弋峰等, 1997),这些酚类物质可以单一或协同对害虫起作用,影响昆虫的生长发育、繁殖(王瑞勤等, 1993);水解单宁和缩合单宁可强烈抑制昆虫的生长发育,而且水解单宁的毒性更高,引起昆虫的拒食效应比缩合单宁强 5 ~ 10 倍(Blytt *et al.*, 1988; 娄永根和程家安, 1994);棉花中的棉酚对多种害虫有毒害作用,用含棉酚 0. 5% 的棉蕾饲养棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 幼虫,其死亡率在 50% 以上(轩静渊和王辅, 1991);不同杨树木质部和韧皮部酚酸含量与其受天牛等害虫危害程度有关(李会平等, 2003; 王牧原, 2008; 孙守慧等, 2009);毛白杨的酚酸含量越高,抗虫性越强(王蕤等, 1995)。

作为世界性森林害虫之一的舞毒蛾 *Lymantria dispar* (L.),可取食 500 多种寄主植物,但不同植物对其发育速度、繁殖能力有明显的影响。取食杨树、落叶松和山杏的舞毒蛾生长发育和繁殖能力均不相同(王丽珍等, 2006),即使是同种寄主植物,不同品系影响舞毒蛾的生长发育(Osier *et al.*, 2000),同时寄主植物的防御化合物也会影响舞毒蛾幼虫的生长发育(Rossiter *et al.*, 1988; Bouchier and Nealis, 1993)。为探索植物次生物质在害虫防治上的应用,本实验选择了 4 种重要抗虫性酚酸分别加入舞毒蛾人工饲料中,研究不同酚酸对舞毒蛾生长发育及繁殖的影响,对开发利用植物的次生性物质控制舞毒蛾的为害,以及探明植物-植食性昆虫-天敌之间的关系,都具有很重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

舞毒蛾越冬卵块采自内蒙古自治区乌兰察布市。水杨酸、丁香酸、绿原酸、水解单宁酸购于贵州迪大生物有限公司,纯度 $\geq 99\%$ 。

1.2 卵的孵化

将舞毒蛾卵块去掉表面附毛,用有效氯含量为 4. 5% ~ 5. 5% (w/v) 的 1% 84 消毒液浸泡 20 s 后,蒸馏水冲洗 3 次,阴干后置于底部有滤纸的大培养皿内,放入人工气候培养箱内(温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,相对湿度 60%,光周期 16L: 8D) 孵化,将初孵幼虫转入装有人工饲料的养虫杯中,放入上述条件的人工气候培养箱内继续饲养,选用同一天进入 2 龄的健康幼虫备用。

1.3 幼虫饲料配制

在人工饲料中分别加入水杨酸(SA)、丁香酸(SY)、绿原酸(CH) 和单宁酸(TA) 作为 4 个处理,对照(CK) 不添加任何酚酸。根据段文昌(2012) 对植物施用外源茉莉酸后叶片中酚酸含量变化的研究结果,选取的 4 种酚酸在人工饲料中含量(w/w) 分别为: 丁香酸 0. 12%、水杨酸 0. 12%、绿原酸 0. 3%、单宁酸 0. 2%。人工饲料制作采用 Bell 等(1981)。

1.4 生物测定

幼虫转入到相应含有 4 种酚酸人工饲料的养虫杯内,单头饲养。以未添加任何酚酸的人工饲料作为添加酚酸的对照,共 5 个处理,每处理设 3 个重复,每重复 30 头幼虫,共计 450 头幼虫。接虫前先称重,测得舞毒蛾 2 龄幼虫的平均体重约为 0. 007 g,一杯 1 虫,单头饲养。每天观察并记录幼虫的发育情况,包括脱皮、化蛹、死亡等,并在脱皮或化蛹后 24 h 内称重。羽化后,将雌雄成虫移入纱网笼内,自由交配、产卵,产卵后 20 d 对每个卵块进行称重、计数,并将卵块去毛,混合均匀后随机选 100 粒卵,在光学显微镜下观察受精卵情况,卵饱满有光泽,并可看到卵壳内深色幼虫形体的视为受精卵。

1.5 数据统计分析

数据处理采用 EXCEL 和 SPSS17. 0 统计软件,并利用 SPSS 单因素(ANOVA) 方差分析中的 LSD 法检验取食不同酚酸对舞毒蛾幼虫生长发育及繁殖的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 人工饲料中不同酚酸对舞毒蛾幼虫死亡率的影响

不同种类的酚酸对舞毒蛾幼虫死亡率影响差异显著。在饲喂第 12 天时,单宁酸引起的死亡率显著

高于对照及其他酚酸,其引起的死亡率为 22.2%,对照(CK)中死亡率 3.3% ($P<0.01$),水杨酸、丁香酸和绿原酸引起的死亡率分别为 4.4%, 7.8% 和 6.7%,它们对幼虫的死亡率影响不显著。但到第 22 天时,绿原酸、单宁酸导致舞毒蛾死亡率迅速上升,到 34 d 时死亡率可达到 100%。

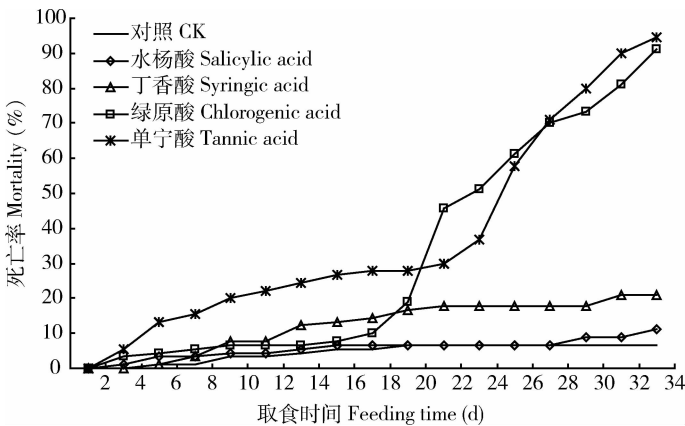


图 1 人工饲料中 4 种酚酸对舞毒蛾幼虫死亡率的影响

Fig. 1 Effects of phenolic acids in the artificial diet on the mortality of *Lymantria dispar* larvae

CK: 正常人工饲料(空白对照) Normal artificial diet (blank control). 下同 The same below.

2.2 人工饲料中不同酚酸对舞毒蛾幼虫发育历期的影响

从表 1 可见,绿原酸和单宁酸对舞毒蛾幼虫发育历期影响极显著 ($P<0.01$),使幼虫历期成倍延长。绿原酸使 2, 3 和 4 龄幼虫历期分别延长约 1.7, 3.7 和 2.5 倍,单宁酸分别延长约 1.8,4.0 和 3.1 倍。幼虫不能正常发育,蜕皮受阻,在 4 龄期就全部死亡。丁香酸使 6 龄幼虫历期缩短,水杨酸对舞毒蛾幼虫的生长发育没有产生明显影响。

2.3 人工饲料中不同酚酸对舞毒蛾幼虫体重及蛹重的影响

由表 2 可知,绿原酸与单宁酸显著降低舞毒蛾幼虫的体重 ($P<0.01$),4 龄期幼虫体重比 CK 分别降低约 75% 和 67.2%,虫体瘦小,不能正常脱皮,最终全部死亡。水杨酸和丁香酸虽使 3,4 和 5 龄幼虫的体重有所减轻,但未达到统计分析的显著性,6 龄时幼虫体重开始增加,水杨酸使幼虫体重增加程度达到了统计分析的差异性 ($P<0.01$);二者均使舞毒蛾雌蛹重量显著增加 ($P<0.05$)。

表 1 人工饲料中不同酚酸对舞毒蛾幼虫发育历期的影响

处理 Treatments	各龄发育历期 Developmental duration of different larval instars (d)					幼虫期(d) Larval duration
	2 龄	3 龄	4 龄	5 龄	6 龄	
	2nd instar	3rd instar	4th instar	5th instar	6th instar	
对照 CK	3.60 ± 0.63	4.48 ± 0.77	4.49 ± 0.76	7.19 ± 3.15	13.23 ± 1.48	29.92 ± 2.99
水杨酸 Salicylic acid	4.07 ± 0.67	4.24 ± 0.55	5.23 ± 1.60	8.25 ± 3.75 *	13.09 ± 1.93	30.27 ± 2.76
丁香酸 Syringic acid	3.76 ± 0.98	4.80 ± 0.65	5.11 ± 1.08	7.03 ± 3.43	12.28 ± 2.14 *	30.80 ± 2.78
绿原酸 Chlorogenic acid	6.23 ± 3.51 **	16.37 ± 5.16 **	11.37 ± 6.18 **	—	—	—
单宁酸 Tannic acid	6.36 ± 3.25 **	18.09 ± 6.25 **	13.75 ± 5.58 **	—	—	—

表中数值为平均值 ± 标准差 The data in the table are mean ± SD. * 与对照差异显著 (LSD 法, $P<0.05$) Significant difference from the control at the 0.05 level by LSD test; ** 与对照差异极显著 (LSD 法, $P<0.01$) Extremely significant differences from the control at the 0.01 level by LSD test. —: 无存活 No survival. 下同 The same below.

表 2 人工饲料中不同酚酸对舞毒蛾幼虫体重及蛹重的影响
Table 2 Effect of phenolic acids in the artificial diet on larval and pupal weights of *Lymantria dispar*

处理 Treatments	幼虫体重 Larval weight (g)					蛹重 Pupal weight (g)	
	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	♀	♂
对照 CK		0.029 ± 0.007	0.116 ± 0.037	0.391 ± 0.151	0.896 ± 0.377	2.39 ± 0.50	1.08 ± 0.22
水杨酸 Salicylic acid		0.033 ± 0.010	0.117 ± 0.028	0.367 ± 0.082	1.182 ± 0.270 **	2.75 ± 0.31 *	1.15 ± 0.20
丁香酸 Syringic acid	0.007 ± 0.001	0.028 ± 0.006	0.114 ± 0.038	0.342 ± 0.117	0.990 ± 0.355	2.65 ± 0.27 *	1.05 ± 0.18
绿原酸 Chlorogenic acid		0.025 ± 0.007	0.029 ± 0.008 **	—	—	—	—
单宁酸 Tannic acid		0.024 ± 0.015	0.038 ± 0.014 **	—	—	—	—

2.4 人工饲料中不同酚酸对舞毒蛾羽化率、性比及产卵质量的影响

绿原酸和单宁酸使舞毒蛾不能完成生活周期,幼虫在 4 龄期就全部死亡,水杨酸和丁香酸处理的幸存者蛹数、性比、羽化率及产卵质量见表 3。水杨

酸、丁香酸对舞毒蛾的羽化率、性比影响不显著,但使产卵量和卵受精率显著降低,其中,丁香酸的产卵量为 435.33 粒/♀,比 CK(524.56 粒/♀)减少了近 90 粒,卵受精率仅为 58.56%,比 CK 降低约 35%,且丁香酸处理减少了雌性成虫的数量。

表 3 人工饲料中不同酚酸对舞毒蛾雌雄性比、羽化率、成虫产卵量和卵受精率的影响
Table 3 Effects of phenolic acids in the artificial diet on the sex ratio, eclosion rate, fecundities and fertilization rate of eggs of *Lymantria dispar*

处理 Treatments	存活蛹数* Number of pupae survived	羽化率(%) Eclosion rate	性比(♂/♀) Sex ratio	单雌产卵量 Number of eggs laid per female	卵受精率(%) Fertilization rate of eggs
对照 CK	84	98.81	0.78	524.56 ± 30.57	89.44 ± 3.78
水杨酸 Salicylic acid	79	93.67	0.68	482.89 ± 31.97 *	67.89 ± 7.06 **
丁香酸 Syringic acid	70	95.71	1.13	435.33 ± 44.69 **	58.56 ± 10.35 **

* 初始幼虫数为 90 头 The initial number of larvae is 90.

3 讨论

本试验根据植物叶片中不同酚酸可达到的较高含量,将其分别加入人工饲料中对舞毒蛾幼虫进行生物测定,结果显示取食含有单宁酸、绿原酸的人工饲料的舞毒蛾幼虫不能完成正常的生长发育,幼虫瘦小,体重比对照分别降低约 75% 和 67.2%,历期延长 2~4 倍,蜕皮受阻,到 4 龄时全部死亡。可利用它们延长幼虫发育历期的特点,与昆虫病原微生物有机结合,增加病原物对其侵染几率和致死作用,有待于进一步研究。取食含有水杨酸人工饲料的舞毒蛾幼虫,发育历期改变不明显,虽然幼虫体重增加,雌性蛹重显著增加,但产卵量和卵受精率显著降低,说明其抑制了舞毒蛾的繁殖力。取食含有丁香酸人工饲料的舞毒蛾雌蛹重量增加,产卵量及卵受

精率降低,并且雌性成虫比例降低,说明其可降低子代的种群数量。综上分析,不同酚酸对舞毒蛾的驱避、抑制取食和毒害程度不同,且在幼虫体内的累积对幼虫生长发育及繁殖造成不同程度、不可逆的负面影响。类似的报道也表明,许多酚类次生代谢物质随昆虫取食而在体内积累,或延缓昆虫生长发育,或降低昆虫繁殖率,甚至导致昆虫死亡(阎秀峰, 2001)。本研究对繁殖力的影响结果与 Oiser 等(2000)研究舞毒蛾的产卵量与其取食颤叶杨品系酚酸苷含量成反比的结论相一致,酚酸降低了人工饲料的质量,影响了舞毒蛾的繁殖力,这也验证了 Awmack 和 Leather(2002)关于食物质量对植食性昆虫繁殖力影响的理论,昆虫在长期进化过程中通过对食物适合度的评估,来调节自身的繁殖能力。
实验过程中发现幼虫运动缓慢,蜕皮困难且头壳不易脱落,并伴随死亡的现象,可能是因为酚类物

质抑制幼虫取食或阻碍幼虫营养和生理需求,并阻碍幼虫运动及排泄功能,并可能导致蜕皮激素或鞣化激素异常,Kubo 等(1981, 1983)有关于蚕、棉铃虫和粘虫幼虫的类似报道,幼虫取食含有从叶片中提取的化学防护剂包括酚类次生物质的饲料,食物成分之间的络合和改变可降低幼虫(尤其是低龄期幼虫)对食物的利用率。

舞毒蛾幼虫作为多主寄生性昆虫,其生长发育过程中的蜕皮早晚、繁殖力与所取食的植物营养物质及防御化合物有很大关系(Hausman *et al.*, 2000),酚类物质作为防御化合物的重要类群,在植物抗虫、抑菌及阻食等方面具有重要防御功能,因而喷施外源茉莉酸诱导植物酚类次生物质含量显著提高以达到抗虫目的也越来越备受关注(段文昌, 2012)。酚酸的种类及含量与抗虫性有密切关系(Morimoto *et al.*, 2002),合理利用植物的自然防御能力,减少化学农药的使用,有效控制有害生物的为害而不影响人类生存的环境和安全仍是主要探索的方向。

参考文献 (References)

- Awmack CS, Leather SR, 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47: 817–844.
- Bell RA, Owens CD, Shapiro M, Tardiff JR, 1981. Mass rearing and virus production. In: Doane CC, McManus ML eds. *The Gypsy Moth: Research toward Integrated Pest Management*. U. S. Dept. Agric. For. Serv. Tech. Bull., Vol. 1584. USDA, Washington, DC. 599–600.
- Blytt HJ, Guscar TK, Butler LG, 1988. Antinutritional effects and ecological significance of dietary condensed tannins may not be due to binding and inhibiting digestive enzymes. *Journal of Chemical Ecology*, 14: 1455–1465.
- Bourchier RS, Nealis VG, 1993. Development and growth of early- and late-instar gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) feeding on tannin-supplemented diets. *Environmental Entomology*, 22: 642–646.
- Duan WC, 2012. Induced Defense Responses of Wolfberry (*Lycium barbarum* Linn) by Exogenous Jasmonic Acid and *Aceria pallida* Keifer. MSc Thesis, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot. [段文昌, 2012. 外源茉莉酸及枸杞瘿螨危害诱导的枸杞防御反应. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文]
- Ge F, Li DM, Qiu YX, Wang GH, 1997. Studies on the changes of some chemicals in damaged pine needles and their effects on population parameters of pine caterpillar. *Acta Entomologica Sinica*, 40(4): 337–342. [戈峰, 李典谟, 邱业先, 王国红, 1997. 松树受害后一些化学物质含量的变化及其对马尾松毛虫种群参数的影响. 昆虫学报, 40(4): 337–342]
- Hausman JF, Evers D, Thiellement H, Jouve L, 2000. Compared responses of poplar cuttings and in vitro raised shoots to short-term chilling treatments. *Plant Cell Rep.*, 19(10): 954–960.
- Herbert RB, 1989. *The Biosyntheses of Secondary Metabolites*. Chapman and Hall, London. 1–56.
- Hu ZH, Yang D, Shen YB, 2009. Difference of phenolic contents in leaves of *Populus simonii* × *P. pyramidalis* 10. Opera 8277 ⑦ cuttings induced by various damages. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 29(2): 332–337. [胡增辉, 杨迪, 沈应柏, 2009. 不同损伤形式诱导合作杨叶片中酚类物质含量的差异. 西北植物学报, 29(2): 332–337]
- Kubo I, Klocke JA, Asano S, 1983. Effects of ingested phytoecdysteroids on the growth and development of two lepidopterous larvae. *Journal of Insect Physiology*, 29: 307–316.
- Kubo L, Klocke JA, Asano S, 1981. Insect ecdysis inhibitors from the east African medicinal plant *Ajuga remota* (Labiateae). *Agricultural and Biological Chemistry*, 45: 1925–1927.
- Li HP, Wang ZG, Yang MS, Zhang YG, Huang DZ, Zhang SH, 2003. The relation between tannin and phenol constituents and resistance to *Anoplophora glabripennis* of various poplar tree species. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 26(1): 36–39. [李会平, 王志刚, 杨敏生, 张彦广, 黄大庄, 张世红, 2003. 杨树单宁与酚类物质种类及含量与光肩星天牛危害之间关系的研究. 河北农业大学学报, 26(1): 36–39]
- Lou YG, Cheng JA, 1994. The kairomone from brown planthopper and its relation to rice varieties. *Acta Phytophylacica Sinica*, 21(4): 327–332. [娄永根, 程家安, 1994. 褐飞虱利它素及其与水稻品种的关系. 植物保护学报, 21(4): 327–332]
- Lou YG, Cheng JA, 1996. Behavioral response of *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang to the volatile of rice varieties. *Entomological Journal of East China*, 5(1): 60–64. [娄永根, 程家安, 1996. 稻虱缨小蜂对水稻品种挥发物的行为反应. 华东昆虫学报, 5(1): 60–64]
- Morimoto MS, Tanimoto KM, Sakatani AK, Komai KC, 2002. Antifeedant activity of an anthraquinone aldehyde in *Galium Aparine* L. against *Spodoptera litura* F. *Phytochemistry*, 60(2): 163–166.
- Osier TL, Hwang SY, Lindroth RL, 2000. Effects of phytochemical variation in quaking aspen *Populus tremuloides* clones on gypsy moth *Lymantria dispar* performance in the field and laboratory. *Ecological Entomology*, 25: 197–207.
- Rossiter MC, Schultz JC, Baldwin LT, 1988. Relationships among defoliation, red oak phenolics, and gypsy moth growth and reproduction. *Ecology*, 69: 267–277.
- Sun SH, Li CX, Lv CL, Yuan ZL, Wang ZY, Qi JY, Ge F, Zhong X, 2009. Study on the relationship between phenol and phenolic acid constituents in poplar with *Saperda populnea* host choice and larva growth. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 40(2): 193–196. [孙守慧, 李从心, 吕长利, 原忠林, 王忠钰, 祁金玉, 葛芳, 钟馨, 2009. 杨树中酚及酚酸与青杨天牛寄主选择和幼虫发育关系的研究. 沈阳农业大学学报, 40(2): 193–196]
- Tang DL, Wang WG, Tan WJ, Guo YY, 1997. Changes of contents of some substances in cotton leaves induced by cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) attack. *Acta Entomologica Sinica*,

40(3): 332–333. [汤德良, 王武刚, 谭维嘉, 郭予元, 1997. 棉铃虫为害诱导棉花内物质含量变化. 昆虫学报, 40(3): 332–333]

Thomas D, Erich S, 1998. Oviposition of carrot fly (*Psila rosae*) in response to foliage and leaf surface extracts of host plants. *Chemoecology*, (8): 39–49.

Wang LZ, Duan LQ, Te MQ, Xie MY, 2006. Influence of host plants on the development of gypsy moth. *Forest Pest and Disease*, 25(1): 21–23. [王丽珍, 段立清, 特木钦, 谢明玉, 2006. 寄主植物对舞毒蛾生长发育的影响. 中国森林病虫, 25(1): 21–23]

Wang MY, 2008. The Effect of Phenolic Acids in Ten Strains Poplar on *Xylotrechus rusticus* Linnaeus. MSc Thesis, Northeast Forestry University, Harbin. [王牧原, 2008. 十种杨树酚酸类物质对青杨脊虎天牛的影响. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文]

Wang R, Ju GS, Qin XX, 1995. Discussion on resistance of *Populus tomentosa* bark inclusion to *Anoplophora glabripennis*. *Scientia Silvae Sinicae*, 31(2): 185–188. [王蕤, 巨关升, 秦锡祥, 1995. 毛白杨树皮内含物对光肩星天牛抗性的探讨. 林业科学, 31(2): 185–188]

Wang RQ, Li FL, Huang YP, Zhou ZY, 1993. Comparative studies on resistance of *Populus deltoides* Bartr. cv. ‘Lux’ ex. I-69/55 and *P. × dakuanensis* Hsu. to *Anoplophora glabripennis*. *Journal of Beijing Forestry University*, 15(1): 87–91. [王瑞勤, 李凤兰, 黄一平, 周章义, 1993. I-69 杨和大官杨对光肩星天牛抗性的研究. 北京林业大学学报, 15(1): 87–91]

Xuan JY, Wang F, 1991. The Outline of Plant Resistance to Insects. Science and Technology Press of Sichuan, Chengdu. [轩静渊, 王辅, 1991. 植物抗虫性概论. 成都: 四川科学技术出版社]

Yan XF, 2001. Ecology of plant secondary metabolism. *Acta Phytoecologica Sinica*, 25(5): 639–640. [阎秀峰, 2001. 植物次生代谢生态学. 植物生态学报, 25(5): 639–640]

(责任编辑: 袁德成)